第 38 卷第 8 期 2018 年 4 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.38,No.8 Apr.,2018

DOI: 10.5846/stxb201704260764
孙宝娣, 崔丽娟, 李伟, 康晓明, 张曼胤.湿地生态系统服务价值评估的空间尺度转换研究进展.生态学报,2018,38(8):2607-2615.
Sun B D, Cui L J, Li W, Kang X M, Zhang M Y.A review of spatial-scale transformation in wetland ecosystem service evaluation.Acta Ecologica Sinica, 2018,38(8):2607-2615.

湿地生态系统服务价值评估的空间尺度转换研究进展

孙宝娣[1,2], 崔丽娟[1,2,*], 李 伟[1,2], 康晓明[1,2], 张曼胤[1,2]
1 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091
2 湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091

摘要:湿地生态系统服务取决于一定空间尺度中的生态系统结构和生态过程,而人类从湿地生态系统获得利益的大小也与其空间尺度有着密切联系。同时,湿地生态系统服务价值评估的空间尺度转换问题也一直是整个湿地生态学研究中的热点和难点之一。在分析湿地生态系统服务空间尺度特征的基础上,提出了湿地生态系统服务价值评估研究中空间尺度转换的概念,即是指通过一个已经有的、与被估算湿地生态系统相似的更大空间范围的或更小空间范围的另一湿地生态系统的价值来估算该湿地生态系统的价值量的过程。介绍了常用的空间尺度转换的方法,主要包括成果参照法和空间模型分析两种方法,成果参照法又包括数值直接外推法和调整函数参照法(Meta 分析法)。对目前空间尺度转换研究中存在问题进行总结,并对未来的研究进行了展望。

关键词:湿地生态系统服务; 价值评估; 空间尺度转换; 研究进展

A review of spatial-scale transformation in wetland ecosystem service evaluation

SUN Baodi[1,2], CUI Lijuan[1,2,*], LI Wei[1,2], KANG Xiaoming[1,2], ZHANG Manyin[1,2]
1 *Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing* 100091, *China*
2 *Beijing Key Laboratory of Wetland Services and Restoration, Beijing* 100091, *China*

Abstract: Recently, the services of wetland ecosystems have attracted increasing attention from resource managers, researchers, and the wider public. This closer focus is partly because of the growing recognition of the ecological services that wetland environments provide, including various resources for different beneficiaries, as well as habitats and refugial biotopes for different wetland organisms. Moreover, wetlands located along bird migratory routes, such as the large tidal flats of the Chinese coastal wetlands, supply food for millions of birds traveling across East Asia and Australia. Thus, wetlands are not only important for human survival, particularly to those relying on local fish, but also for the survival of millions of migratory birds and other organisms. According to the Millennium Ecosystem Assessment (also called MA), the wetland ecosystem services are classified as provisioning, regulating, supporting, and culture. The services available from wetland ecosystems depend on a number of related ecological structures and processes on different temporal or spatial scales. The size and extent of the human benefits from the wetland ecosystems have close relationships with the temporal and spatial scales of the ecological systems. However, the original beneficiary and the ultimate beneficiary of wetlands often existing different spatial scales. Thus, the "spatial difference" exists between the ecosystem services provided by the wetlands and the services received as an end product. Currently, based on market prices, the shadow project method, and the replacement cost method, typical mature wetland ecosystems and their services have been evaluated as case studies. Some studies have also been based on direct extrapolation through the value per unit area for the analysis of services at larger

基金项目:林业公益性行业科研专项(201404305)
收稿日期:2017-04-26; **网络出版日期**:2018-01-08
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: lkyclj@126.com

spatial scales, such as for a province or river basin. However, no research has been undertaken for the non-destructive evaluation and control of spatial structures. Thus, the scale of transformation in wetland ecosystems and the respective evaluation of their services have been both a hotspot and an obstacle for wetland ecology studies. Research on spatial-scale transformations in wetland ecosystems evaluation mainly involves three aspects: (1) a clear definition of the ecological spatial-scale transformation; (2) an analysis of the regular differences between spatial scales; and (3) the technologies and methods of space-scale transformation evaluation. In this paper, based on the analysis of the characteristics and regular differences between spatial scales of wetland ecosystem services, we first discuss the concept of spatial-scale transformations in wetland ecosystem service evaluations, which is considered as the value of another similar ecosystem (with more space or less space range) being evaluated to estimate the value of the other wetland ecosystem. Second, we present the commonly used methods of spatial-scale transformation in wetland ecosystem service evaluations (focusing on scaling-up spatial transformations), which mainly include the reference method and the spatial analysis method. The direct extrapolation method and benefit transfer (meta-analysis) method are included in the reference method. Finally, we summarize the problems that existed in the present study: (1) difficulties in applying the reference method directly to calculate the value of wetlands; (2) precision issues in the original data used for studying the scale of transformation; (3) parameter problems in the model used for studying the scale of transformation; (4) lack of research on the measurement and characterization of the scale of transformation; (5) and uncertainty in the analysis of the scale of transformation. Furthermore, we also discuss different perspectives for future research on the scale of transformation and evaluation of wetland ecosystem services.

Key Words: wetland ecosystem services; evaluation; spatial-scale transformation; research progress

湿地生态系统服务是指基于受益人考虑,湿地为人类以及各种生物提供赖以生存的环境条件和自然效益[1-4],简单地说,就是人类本身以及产生的活动能够从湿地生态系统中获得的利益[5]。不同的湿地生态系统,其提供的服务功能类型具有一定差异,如促淤造陆和消浪护岸两项服务功能是滨海湿地特有的[4]。然而,湿地生态系统的最终受益者和湿地的源、汇经常处于不同的空间尺度[6-9],即湿地所提供的生态系统服务功能和人类所接受的服务两者之间存在"空间差异"[10-11]。例如,在对湿地的淡水资源供给和水质净化价值进行科学量化评估时,需要一定的时空范围:对于淡水资源供给,则需要一定的空间范围,而水质净化服务,则需要一定的污染物降解的时间范围。所以,在计算这两方面价值时,需要合理识别其滞后效应的价值并进行核算,关于湿地生态系统服务的滞后效应价值当前多以替代工程法来计算[12-13]。而运用替代工程法对存在"空间差异"的湿地生态系统服务进行等效计算,针对性相对较低,可能会造成部分价值的缺失,使得其真实价值难以量化。

湿地生态系统服务取决于一定空间尺度的生态系统结构和生态过程[2,14],而人类从湿地生态系统获得利益的大小与生态系统时空尺度有着密切联系。McCarthy[15]在 1997 年指出,在涉及到有尺度效应的地学或生态学研究中,在某一个尺度上得出的研究结果和结论,不能期望其能够同样适用于其他尺度,尺度的变化都会产生新的问题,所以假设在某一个尺度上研究的关联程度不太可能在其他尺度的研究中依然存在。近年来,对湿地生态系统服务功能的尺度研究也引起关注[16]。本研究在分析湿地生态系统服务在不同空间尺度上的表现特征和空间规律的基础上,对湿地生态系统服务价值评估尺度研究中的主要问题即如何解决尺度间转换进行概述,将从尺度转换的(重点针对空间升尺度转换)研究现状,包括尺度转换概念、方法和存在问题等方面进行深入探讨。

1 空间尺度转换的概念及特征

尺度是湿地生态学中的一个重要概念,一般是指观察或研究对象(湿地生态过程或格局)在一定时间范围或一定空间范围的量度,亦称为时间尺度或空间尺度[17-19]。湿地生态系统的服务依赖不同空间尺度上的

生态与地理系统过程,即不同湿地生态系统服务的研究过程和结论都依赖于特定尺度,这种现象称为空间尺度依赖性[19-20]。从 20 世纪 50 年代以来,生态学中尺度依赖性问题一直得到学者们的关注,尺度的选择和尺度的转换也一直被认为是研究中重要的理论问题和关键技术[20-22]。学者们对生态学中尺度的研究内容和重点内容都作过总结,尤其是不同尺度间的转换和联系一直被认为是尺度研究的重点。1965 年,Haggett 等[23]就指出与尺度研究相关的尺度覆盖、不同尺度之间的联系以及怎样进行尺度的标准化的 3 个基本问题。20 世纪 80 年代末,Meentemeyer 等[24]认为尺度研究应重点解决的 3 个基本问题为:(1)尺度在不同空间模式和过程检测中的作用,以及尺度对环境研究中建模的影响;(2)对尺度阈值和尺度域的识别;(3)尺度转换技术和方法对不同尺度选择的分析和怎样实现多尺度建模方法。国内学者张娜[25]提出生态学中的尺度问题主要涉及的也是 3 个方面:(1)明确生态尺度的概念;(2)对不同空间尺度进行分析;(3)不同尺度的研究进行转换的技术和方法。

空间尺度转换是指将数据或信息从一个空间尺度转换到另一个空间尺度的过程,是指跨越不同尺度的辨识、推断或推绎[23-25]。尺度转换是实现数据同化、形成统一协调的数据模型和知识的关键。大量研究证实,湿地生态系统服务价值评估中湿地格局与过程及其空间特征均是与尺度相依相存的[16,26-27]。湿地生态系统服务价值评估中的空间尺度转换是指通过一个已经有的、与被估算湿地生态系统相似的更大空间范围的或更小空间范围的另一湿地生态系统的价值来估算该湿地生态系统的价值量的过程。从转换前后的湿地空间范围大小来区分,可以分为尺度上推(升尺度)和尺度下推(降尺度)两类。湿地生态系统服务价值评估的尺度上推的定义是指运用已有的湿地生态系统评估结果求算更大空间尺度上湿地生态系统服务价值评估结果的过程,这也意味着对湿地生态系统服务价值客观的认识趋向宏观、整体[3];反之,则为尺度下推。

2　空间尺度转换的方法

湿地生态系统服务价值评估的空间尺度转换研究中,主要是指尺度上推[25]。传统的生态学尺度的研究中,尺度上推可总结为两类:一类是基于相似性原理的上推,另一类是基于动态模型的上推。基于相似性原理的上推包括相似性分析、量纲分析、空间异速生长学方法和传统异速生长学;基于动态模型的上推则包括直接外推法、简单聚合法、有效参数外推法、空间相互作用模型方法等。具体涉及的函数包括回归分析法、小波变换法、半变异函数法、空间自相关分析法和相关图示法等[28]。

结合已有湿地生态系统价值评估尺度转换的研究方法[29-32]可以归结为两种:一是成果参照法,又称"效益转移法";二是空间模型分析方法。成果参照法主要沿用传统生态学尺度上推中的相似性分析方法、直接外推等方法和原理进行更大尺度湿地生态系统服务的价值评估;而空间分析模型方法则主要沿用传统生态学尺度上推中的有关聚合聚类、空间相互作用模型等方法进行转换。

2.1　成果参照法

成果参照法是指利用现有的湿地生态系统服务价值评估研究结果,对更大空间范围的湿地生态系统服务价值进行评估的过程[3,31]。该方法主要是基于在特定区域的较为成熟的典型湿地案例,根据其价值评估的结果,通过适当的方法进行调整,转换到其他地理空间的湿地研究区域,进而得到尺度转换后的更大地理空间的湿地生态系统服务价值量[31,33]。不少学者对相关研究的成果参照法的评估结果进行的有效性检验显示,误差在可接受的范围内[34-37]。主要包括数值直接外推法和调整函数参照法两种方法。

2.1.1　数值直接外推法

数值直接外推法,是指在湿地生态系统服务价值评估尺度上推过程中,保持模型粒度不变而增加模型的幅度。这也是目前研究中最直观也是技术上最直接的方法。不论是局域尺度或是区域性尺度,或是以典型湿地案例,或是以城市、省域地理范围为研究对象,大多采用 MA 的分类体系,即供给、调节、支持和文化 4 个方面[4];或根据受益者分成中间服务和最终服务[12]。学者们综合考虑生态系统去重复性问题,选择研究区内湿地发挥的主导服务功能进行评估。方法主要是参照国外学者 Costanza[10,38]发表的关于全球生态资产评估的

理论体系。其是将 1997 年的 100 项研究成果和 2008 年 300 多项研究成果进行综合,假设每单位类型的生态系统服务价值不变,从而与相应的面积相乘再相加得到总价值,两次研究中分别涉及到 17 项和 22 项生态系统服务类型和包括市场价格法、享乐价格法、意愿调查法、重置成本法、旅行费用法等的评估方法。

这样的方法忽略了系统要素之间和各种服务之间的复杂的相互依存性,得出的只是一个粗略的近似值,并且存在一定的误差。其中,有些直接套用单位面积产生的误差相对较小,比如供给服务中采用市场价值法进行核算湿地的食物生产,原材料生产等。而有一些譬如涵养水源采用影子工程法时,选择水库成本时,有一些研究中还是沿用 1997 年 Costanza 等[38]的 0.67 元/m^3 的单位成本,显然是有一定误差的,应该根据现有的 GDP,居民消费指数 CPI 等指标进行调整和标准化。上述的这些生态系统服务功能所发挥的空间尺度包括从局域尺度到全球尺度,在进行价值尺度转换的时候,没有办法解释湿地地理空间上的变异,忽略了研究变量随尺度变化而发生的非线性变化,在直接外推中存在着一些不确定性和误差。有关 Costanza 等人[10,38]的方法及其在中国湿地生态系统服务价值评估中应用可能还存在下列问题:其生态系统服务价值体系是基于全球尺度得到的结果,而且大多案例选择来自于欧洲、美国等发达国家,所以其评估结果也主要反映的是这些国家的经济水平。中国作为发展中国家,以直接应用该方法可能会导致湿地生态系统服务价值被估计得偏高。Costanza 等人的方法有着一定的合理性和可借鉴的价值,但是随着全球经济的进步,仍然有值得完善之处。

2.1.2 调整函数参照法

湿地生态系统服务价值评估尺度转换中的调整函数参照法主要是指 Meta 整合分析法,也有人用总观评述、数量评论、数量综合等这些名称来代表这一方法。Meta 分析通过调整函数来换算湿地单位面积的价值,可以根据不同类型湿地进行换算,也可以根据不同生态系统服务进行换算,再根据不同类型湿地面积和不同生态系统服务所发挥功能的面积来实现大尺度湿地生态系统服务价值估算结果。该方法最早由美国教育学家 Glass 提出,是指综合分析其他研究结果的统计学分析方法[39]。Fleiss 等[40]、彭少麟和唐小焱[41]等学者对 Meta 分析的方法进行再分析与补充,并将该方法引入到生态学领域中。此后,张翼然[31]、Gracz[42]、Chaikumbung[43]和 Pavlineri[44]等学者们将 Meta 分析法具体应用到湿地生态系统服务价值评估领域中,对更大地理范围内的湿地生态系统服务价值进行核算,包括全国、跨越国家(发展中国家)的地理尺度范围。

该方法具体步骤主要分为以下 3 步:第一步,建立数据库。筛选初始研究(包括已发表和未发表的相关主题的研究),将这些研究的关于湿地生态系统服务类型、各项服务的价值以及研究案例点所处地的空间地理信息、经济和环境变量特点等数据形成 Meta 研究的数据库。第二步,运用统计分析软件进行分析,建立 Meta 回归模型函数见公式(1),得出影响湿地生态系统服务价值的湿地特点、环境特点和评估技术等变量的系数及常数项。第三步,调整 Meta 模型,主要是通过研究区域的典型湿地案例点的数据来对模型进行验证,使得其适用于湿地生态系统价值评估,来计算研究区域湿地生态系统服务总价值。

$$lnV_{ij} = \beta_0 + \beta_w X_{Wij} + \beta_m X_{mij} + \beta_c X_{cij} + U_{ij} \quad (1)$$

式中,i 和 j 代表第 j 个研究中的第 i 个观察值。V_{ij} 代表第 j 个研究中的第 i 个生态系统服务的价值,单位:美元 hm^{-2} a^{-1},研究中将所有价值标准化到基准年的价值。β_0 为常数项,β_w,β_m,β_c 分别为对应变量的系数项。X_w 代表湿地特点,包括湿地规模大小、湿地类型等。X_m 代表评估技术,包括数据库中的研究是否是发表状态、评估年份等。X_c 代表湿地所处地理环境、经济-社会特点,包括当地的人均 GDP,是否属于拉姆萨尔湿地(即湿地的保护力度),湿地所处的纬度,当地的人口密度和湿地与城市中心的距离等。

综合国内外的研究,发现很多学者对 Meta 模型中不同社会-经济因子和湿地生态系统服务价值的关系都有不同程度的研究。Woodward 等[45]和 Brander 等[46-48]的研究中,使用多元回归分析对湿地生态系统服务价值进行尺度上推,强调在 Meta 数据库的搜集中,要广泛包括不同地理位置的相同类型湿地、不同评估方法、不同类型的湿地生态系统服务功能和不同经济-社会因子。Ghermandi 等[49-50]的研究中得出一些社会-经济变量,如居民收入、人口密度等因素对湿地生态系统服务价值评估有很大影响。Chaikumbung 等[43]在识别影响发展中国家湿地评价的因素得出,湿地规模大小和湿地生态系统服务价值呈负相关关系,城市 GDP 和湿地生

态系统服务价值呈正相关关系,湿地的水质净化和生物多样性的价值比休闲旅游价值要高等相关结论。Rao 等[51]则采用单变量和多变量分析,并在 Meta 分析中采用逐步移除的回归分析,精确得出影响全球滨海湿地单位面积价值的因子,结果和 Chaikumbung 等[43]的研究呈一定的相似性,包括湿地规模大小和单位价值呈现显著负相关关系,条件价值评估方法和 GDP 因子和单位价值呈显著正相关关系。国内学者张翼然等[3,31]、张玲等[52]将 Meta 分析的方法引入到湖沼湿地生态系统服务价值评估中,实现了全国尺度的价值评估。

Meta 分析在国内外的湿地生态系统服务价值评估的应用已经较为广泛,其克服了传统文献综述的缺陷,具有可以对同一问题提供系统的、可重复的、客观的综合方法等特点,并具有增加检验效能、提高研究精度等优势[11,47,53-54],其综合性、准确性的特性得到了越来越多专家的认可。但该方法也有自己的不足,这种调整函数得到的结果还是单位面积价值,相对缺少空间相关信息的提炼和分析,在进行尺度转换时还是缺少信服力。国内相关研究中,由于时间和精力的限制,搜集的案例研究点大多来源于国内[31,55],由于样本和解释变量个数较少,很多统计上不显著的解释变量被剔除,缩小了 Meta 回归模型的预测范围。所以,在今后的实证研究过程中,除了要提高湿地生态系统服务价值评估方面文章的深度和广度,继续完善 Meta 分析的方法和技术,还应该积极地探求国际合作,寻求资源共享。

综述这两种成果参照法,其优点在于:两种方法都已经得到了相关学者在很多研究区域的运用,在一定程度上说明成果参照法在价值评估尺度转换研究中有一定的意义和合理性。若评估大尺度湿地自然地理条件具有一定的相似性,如湿地有着相同的湿地类型、植被特征、水文特征,并且这些湿地发挥的服务功能也大体一致,套用这些研究成果,可以有效地节约成本。但是成果参照法在应用过程中也有一定的局限性:这样的评估方法大多是适用于相同的湿地类型或者空间尺度跨越不是很大的情况,并且尺度转换过程中的数据大多是依靠原始数据,如果原始数据精度和质量不高,那么转换后结果必然存在误差和不确定性。另外,要求原始数据和转换后的湿地生态系统之间具有相似的社会经济特征、自然地理特征,如果两者相似度很高,那么评估结果的精度也越高。

2.2　空间模型分析方法

对大尺度湿地生态系统服务价值研究中,相关的生理生态、社会经济等参数是关键数据,GIS 等空间分析软件能在多尺度范围内提供有效真实地生理生态、社会经济影响因素等方面数据,并通过系统采样、变异函数分析(即空间建模)对研究对象和被估计生态系统的各项因子建立函数模型,计算出所求价值量[56-58]。以运用条件价值法中支付意愿法来调查核算某湿地生态系统服务价值中生物多样性维持价值为例,定义其函数为 $WTP_{ij}=f(G_j, H_i)$ 式中,WTP_{ij}是第 i 个受访者对第 j 个湿地生物多样性维持的支付意愿,G_j为 j 湿地的环境特征,H_i为 i 个受访者的社会属性,包括年龄、教育程度、收入等。目前在湿地生态系统服务价值评估中,应用较多的是对湿地空间信息的提取,如蒋卫国等[59]学者们利用多源信息集成全面评估了北京市城市湿地生态系统服务价值,类似这样的研究还有很多,在提取信息后,更多的还是参照上述的一些成果参照法进行价值评估。

3　存在问题及展望

不同空间尺度上的湿地生态系统服务具有一定的差异性,因此,尺度转换的研究在湿地生态系统服务价值评估中起到十分重要的作用。然而近些年的研究中,湿地生态系统服务价值尺度转换的技术和方法运用也存在一些问题:

3.1　尺度转换研究中缺乏对空间异质性的考虑

目前很多学者直接应用未改进的 Costanza 生态系统类型中的单位面积价值换算更大尺度的湿地生态系统服务价值,即数值直接外推法,该方法忽略了湿地空间异质性特征;或者是根据 Meta 分析模型来得出调整单位面积价值。虽然 Meta 分析模型是目前国内外的湿地生态系统服务价值评估的应用较为广泛的尺度转换方法,但是其还是缺少空间相关信息的提炼和分析,评估的结果缺少信服力。所以需要完善和优化现有尺度

转换方法或引入其他更能反映湿地生态系统服务价值随着其空间非线性变化而变化的尺度转换模型。

在生态学领域中,还是有相对成熟的尺度上推技术—小波变换[25,60-62],研究者们借助 Daubechies 基[60-61]和 Mallat 算法[62]在不同时间尺度下湿地气候变化[63-64]、水文参数对湿地的影响[65]、湿地河岸线空间后退[60]等方面都有了相对成熟的应用,可以借鉴已有研究的理论和思路,在今后的研究中,对湿地生态系统服务价值空间尺度研究进行尝试和探索。其函数表达式可为:

$$f(x)=S_J(x)+D_J(x)+D_{J-1}(x)+D_{J-2}(x)+\cdots+D_1(x) \tag{2}$$

式中,$f(x)$为对研究对象湿地建立的小波函数,也称为待分析函数,S 表示待分析函数的平滑部分,D 表示待分析函数的细节部分,$S_J(x)$、$D_J(x)$、$D_{J-1}(x)$、$D_{J-2}(x)$和 $D_1(x)$则表示不同空间尺度上湿地的小波信号。$S_J(x)$为待分析函数在最粗尺度 2^J 的粗略估计。待分析函数的平滑部分和细节部分满足 $S_J(x)+D_J(x)=S_{J-1}(x)$,即 $S_{J-1}(x)$是 $S_J(x)$加入细节信息 $D_J(x)$之后得到的,能给出待分析函数在尺度 2^{J-1} 上更精细的估计。同理,$S_{J-1}(x)$和 $D_{J-1}(x)$累加得到 $S_{J-2}(x)$,给出待分析函数在尺度 2^{J-2} 上精细的估计。依此类推,$S_J(x)$,$S_{J-1}(x)$,…,$S_1(x)$分别给出待分析函数在 2^J,2^{J-1},2^{J-2},…,2 尺度上的逐渐精细的估计[25]。因此,利用小波变换模型中对原始待分析函数的分解,以及小波逆变换中对不同尺度分解函数组分的重购,可实现待分析函数的多尺度上推。考虑到湿地生态系统服务功能受周边土地利用与人类活动等方面影响,在今后模型的应用中,需要纳入这些因素。

3.2 尺度转换研究中的原始数据精度问题

湿地生态系统服务价值尺度转换研究中,不管是成果参照法还是空间模型分析方法,进行空间尺度上推时,都是基于小尺度空间范围的原始基础数据进行[66-67],所以对湿地地理空间尺度进行价值上推中,对原始数据精度要求较高。原始的数据质量越高,其模型转换后的评估结果也就越为准确,即误差就越小[68]。但如果缺少足够的湿地原始数据资料,那么转换后的结果必然存在一定的不确定性和误差,最终核算出的结果精确度更低。另外,关于湿地生态系统能够体现的功能与价值如何认定的问题,也是需要在小尺度空间范围湿地生态系统服务价值评估和尺度上推过程中重点考量(主要考虑不同湿地类型发挥的不同生态系统服务以及相对应的评估方法)。今后的研究中,考虑到湿地不同生态系统服务之间存在权衡和协同的关系[4,69],基于受益者的差异性,对生态系统服务进行权重分析并排序,可以明确每项生态系统服务对于湿地的贡献率,使得小尺度范围内的原始数据的价值评估结果更为接近真实值。

3.3 尺度转换研究中的模型参数问题

对任何尺度下湿地生态系统价值评估都需要对模型参数进行选取[3,70-71]。湿地生态系统包含很多复杂的过程,受到的影响因子较多[6,54,72],而大部分学者在生态因子层面调整的较多,少有研究从社会经济层面调整[73-74]。尤其是在尺度上推过程中,需要采取很多重要的有关经济价值方面的参数,但是随着我国经济的快速发展,经济参数的值会发生了很大的变化,因此在使用这些参数的时候需要结合当时当地的实际经济发展状况情况。此外在选择影响因子要素的时候,一般需要对相关要素做系统分析(如采用逐步移除逐步回归的方法进行确立),避免因为遗漏相关因子而导致研究结果的不准确。运用这些因子建立起来的模型表达式既要适合小尺度范围的湿地研究,也要与大尺度的湿地保持一致,能够体现尺度转换的特征[75]。对最后得出的结果,还需要进行误差分析和不确定性分析来验证其合理性。

3.4 缺少对特征尺度的研究和衡量

特征尺度是尺度研究中的一个基本特征,包括特征时间尺度和特征空间尺度[17,36,76-77]。湿地生态系统价值评估尺度转换中的特征空间尺度是指能够体现湿地生态系统价值评估过程特征的最小空间范围,而不同的湿地生态系统服务类型,其特征尺度也不一样,如净化水质服务功能更多体现在集水区或、流域尺度等[7,26]。湿地生态系统在结构和功能上比一般系统要复杂得多[78-80],研究湿地生态系统服务价值评估的特征尺度有助于更好地理解和揭示湿地生态格局空间异质性的成因,以及可以有效度量不同观测尺度上的异质性大小。而目前,在湿地生态系统服务价值评估尺度转换的研究中,尤其是跨尺度转换的非线性研究,还相对缺少有关

特征尺度的研究,大尺度空间范围内的湿地生态系统服务价值评估的特征尺度的研究和衡量对于尺度选择的精确性有重要的理论和实践意义。

3.5 尺度转换结果的不确定性分析

由于大尺度湿地的空间异质性,在取样和基础数据观测方面存在误差较大、生态参数变量的非线性变化、原始数据的缺乏以及尺度转换方法运用等问题[81-84],进而对评估结果也会造成一定的影响,而且这些误差在空间转换过程中更有可能发生繁衍,从而对评估结果的精度产生更大的非线性影响。如果不进行不确定性分析,通过尺度转换的湿地生态系统服务价值,是否能够反映所研究内容的实际特征还值得商榷[85-86]。但是,在目前的湿地生态学研究中,有关这方面精度或者不确定性的研究尚未得到重视,学者们并不清楚运用尺度转换后的精度到底能达到多少。在今后的研究中,应该引用适当的模型如 Morris 灵敏度分析方法[87]对湿地生态系统服务价值评估尺度转换结果进行不确定性分析。

参考文献(References):

[1] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.

[2] 张宏锋, 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务功能的空间尺度特征. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1432-1437.

[3] Zhang Y R, Zhou D M, Niu Z G, Xu F J. Valuation of lake and marsh wetlands ecosystem services in China. Chinese Geographical Science, 2014, 24(3): 269-278.

[4] 孙宝娣, 崔丽娟, 李伟, 康晓明. 基于不同受益者的双台河口湿地生态系统主导服务功能. 生态学杂志, 2017, 36(1): 164-171.

[5] MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005.

[6] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究. 生态学杂志, 2004, 23(4): 47-51.

[7] 刘晓辉, 吕宪国, 姜明, 商丽娜, 王锡刚. 湿地生态系统服务功能的价值评估. 生态学报, 2008, 28(11): 5625-5631.

[8] Zhang X Y, Lu X G. Multiple criteria evaluation of ecosystem services for the Ruoergai Plateau Marshes in southwest China. Ecological Economics, 2010, 69(7): 1463-1470.

[9] Cui L J, Sun B D, Li W, Pang B L, Lei Y R, Ma M Y, Ma Q F. Evaluation of ecosystem services value of the zoigê wetland nature reserve by multiple criteria. Wetland Science, 2016, 14(2): 145-156.

[10] Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. Biological Conservation, 2008, 141(2): 350-352.

[11] Fisher D J, Copas A J, Tierney J F, Parmar M K B. A critical review of methods for the assessment of patient-level interactions in individual participant data meta-analysis of randomized trials, and guidance for practitioners.Journal of Clinical Epidemiology, 2011, 64(9): 949-967.

[12] 李伟, 崔丽娟, 庞丙亮, 马牧源, 康晓明. 湿地生态系统服务价值评价去重复性研究的思考. 生态环境学报, 2014, 23(10): 1716-1724.

[13] 江波, 张路, 欧阳志云. 青海湖湿地生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3137-3144.

[14] 宋豫秦, 张晓蕾. 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法. 生态学报, 2014, 34(6): 1352-1360.

[15] McCarthy P. Value of self-assessment scales in measuring hearing aid benefit. Seminars in Hearing, 1997, 18(1): 13-17.

[16] He J, Moffette F, Fournier R, Revéret J P, Théau J, Dupras J, Boyer J P, Varin M. Meta-analysis for the transfer of economic benefits of ecosystem services provided by wetlands within two watersheds in Quebec, Canada. Wetlands Ecology and Management, 2015, 23(4): 707-725.

[17] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等出版社,2000.

[18] 胡云锋, 徐芝英, 刘越, 艳燕. 地理空间数据的尺度转换. 地球科学进展, 2013, 28(3): 297-304.

[19] Grafius D R, Corstanje R, Warren P H, Evans K L, Hancock S, Harris J A. The impact of land use/land cover scale on modelling urban ecosystem services. Landscape Ecology, 2016, 31(7): 1509-1522.

[20] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. 地理研究, 2005, 24(1): 11-18.

[21] Goodchild M F. Scale in GIS: an overview. Geomorphology, 2011, 130(1/2): 5-9.

[22] 范春雨, 元正龙, 赵秀海. 吉林蛟河近熟林树种多样性格局尺度依赖性分析. 北京林业大学学报, 2014, 36(6): 73-79.

[23] Haggett P, Chorley R J, Stoddart D R. Scale standards in geographical research: a new measure of areal magnitude. Nature, 1965, 205(4974): 844-847.

[24] Meentemeyer V. Geographical perspectives of space, time, and scale.Landscape Ecology, 1989, 3(3/4): 163-173.

[25] 张娜. 生态学中的尺度问题——尺度上推. 生态学报, 2007, 27(10): 4252-4266.

[26] 郝敬锋, 刘红玉, 胡俊纳, 安静. 南京东郊城市湿地水质多尺度空间分异. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1799-1804.

[27] 张东菊, 左平, 邹欣庆. 基于加权 Ripley's K-function 的多尺度景观格局分析——以江苏盐城滨海湿地为例. 生态学报, 2015, 35(8): 2703-2711.

[28] 吕一河, 傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. 生态学报, 2001, 21(12): 2096-2105.

[29] Brookshire D S, Neill H R. Benefit transfers: conceptual and empirical issues. Water Resources Research, 1992, 28(3): 651-655.

[30] Eade J D O, Moran D. Spatial economic valuation: benefits transfer using geographical information systems. Journal of Environmental Management, 1996, 48(2): 97-110.

[31] 张翼然. 基于效益转换的中国湖沼湿地生态系统服务功能价值估算[D]. 北京: 首都师范大学,2014.

[32] Pendleton L H, Thébaud O, Mongruel R C, Levrel H. Has the value of global marine and coastal ecosystem services changed? Marine Policy, 2016, 64: 156-158.

[33] Ready R, Navrud S. International benefit transfer: methods and validity tests. Ecological Economics, 2006, 60(2): 429-434.

[34] Rosenberger R S, Johnston R J. Selection effects in meta-analysis and benefit transfer: avoiding unintended consequences. Land Economics, 2009, 85(3): 410-428.

[35] Camacho-Valdez V, Ruiz-Luna A, Ghermandi A, Nunes P A L D. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. Ocean & Coastal Management, 2013, 78: 1-11.

[36] Johnson T E, Hasted A, Ristic R, Bastian S E P. Multidimensional scaling (MDS), cluster and descriptive analyses provide preliminary insights into Australian Shiraz wine regional characteristics. Food Quality and Preference, 2013, 29(2): 174-185.

[37] Yamada T, Zampolli M, Haralabus G, Heaney K, Prior M, Isse T. Analysis of recordings from underwater controlled sources in the Pacific Ocean received by the International Monitoring System (IMS) of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO)//EGU General Assembly 2016. Vienna, Austria: EGU, 2016.

[38] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[39] Glass G V. Primary, secondary, and meta-analysis of research. Educational Researcher, 1976, 5(10): 3-8.

[40] Fleiss J L, Gross A J. Meta-analysis in epidemiology, with special reference to studies of the association between exposure to environmental tobacco smoke and lung cancer: a critique. Journal of Clinical Epidemiology, 1991, 44(2): 127-139.

[41] 彭少麟, 唐小焱. Meta 分析及其在生态学上的应用. 生态学杂志, 1998, 17(5): 74-79.

[42] Gracz M, Glaser P H. Evaluation of a wetland classification system devised for management in a region with a high cover of peatlands: an example from the Cook Inlet Basin, Alaska. Wetlands Ecology and Management, 2017, 25(1): 87-104.

[43] Chaikumbung M, Doucouliagos H, Scarborough H. The economic value of wetlands in developing countries: a meta-regression analysis. Ecological Economics, 2016, 124: 164-174.

[44] Pavlineri N, Skoulikidis N T, Tsihrintzis V A. Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. Chemical Engineering Journal, 2017, 308: 1120-1132.

[45] Woodward R T, Wui Y S. The economic value of wetland services: a meta-analysis. Ecological Economics, 2001, 37(2): 257-270.

[46] Brander L M, Florax R J G M, Vermaat J E. The empirics of wetland valuation: a comprehensive summary and a meta-analysis of the literature. Environmental and Resource Economics, 2006, 33(2): 223-250.

[47] Brander L M, Bräuer I, Gerdes H, Ghermandi A, Kuik O, Markandya A, Navrud S, Nunes P A L D, Schaafsma M, Vos H, Wagtendonk A. Using meta-analysis and GIS for value transfer and scaling up: valuing climate change induced losses of European wetlands. Environmental and Resource Economics, 2012, 52(3): 395-413.

[48] Brander L M, Van Beukering P, Cesar H S J. The recreational value of coral reefs: a meta-analysis. Ecological Economics, 2007, 63(1): 209-218.

[49] Ghermandi A, Van Den BerghJ C J M, Brander L M, De GrootH L F, Nunes PALD. Values of natural and human-made wetlands: a meta-analysis. Water Resources Research, 2010, 46(12): W12516.

[50] Ghermandi A, Ding H, Nunes P A L D. The social dimension of biodiversity policy in the European Union: valuing the benefits to vulnerable communities. Environmental Science & Policy, 2013, 33: 196-208.

[51] Rao N S, Ghermandi A, Portela R, Wang X W. Global values of coastal ecosystem services: a spatial economic analysis of shoreline protection values. Ecosystem Services, 2015, 11: 95-105.

[52] 张玲, 李小娟, 周德民, 张翼然. 基于 Meta 分析的中国湖沼湿地生态系统服务价值转移研究. 生态学报, 2015, 35(16): 5507-5517.

[53] Khatami R, Mountrakis G, Stehman S V. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: general guidelines for practitioners and future research. Remote Sensing of Environment, 2016, 177: 89-100.

[54] 孙宝娣, 崔丽娟, 李伟, 康晓明, 潘旭, 张曼胤, 周建, 李凯. 湿地价值评估尺度转换方法——Meta 分析研究概述. 湿地科学与管理, 2016, 12(1): 58-62.

[55] 张雅昕, 刘娅, 朱文博, 李双成. 基于 Meta 回归模型的土地利用类型生态系统服务价值核算与转移. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52(3): 493-504.

[56] Furlanetto S R, McQuinn M, Hernquist L. Characteristic scales during reionization. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2006, 365(1): 115-126.

[57] 李小梅. 基于小波变换的生态环境空间尺度研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2008.

[58] 李小梅. 基于小波变换的生态环境空间尺度定量研究. 测绘学报, 2009, 38(1): 93-93.

[59] 蒋卫国, 李雪, 蒋韬, 陈云浩, 朱琳, 赵文吉, 陈强, 雷璇. 基于模型集成的北京湿地价值评价系统设计与实现. 地理研究, 2012, 31(2): 377-387.

[60] Mount N J, Tate N J, Sarker M H, Thome C R. Evolutionary, multi-scale analysis of river bank line retreat using continuous wavelet transforms: Jamuna River, Bangladesh. Geomorphology, 2013, 183: 82-95.

[61] Wenigera M, Kappa F, Friederichs P. Spatial verification using wavelet transforms: a review. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2017, 143(702): 120-136.

[62] Funashima Y. Time-varying leads and lags across frequencies using a continuous wavelet transform approach. Economic Modelling, 2017, 60: 24-28.

[63] 卢晓宁, 邓伟, 张树清, 翟金良. 霍林河中游径流量序列的多时间尺度特征及其效应分析. 自然资源学报, 2006, 21(5): 819-826.

[64] 李祥, 寿绍文, 白艳辉, 吴云龙. 1960—2013 年白洋淀湿地气候变化特征分析. 气象与环境学报, 2016, 32(1): 75-83.

[65] 李兴华, 韩芳, 张存厚, 娜日苏, 刘朋涛. 气候变化对内蒙古中东部沙地——湿地镶嵌景观的影响. 应用生态学报, 2009, 20(1): 105-112.

[66] 杜红艳, 张洪岩, 张正祥. GIS 支持下的湿地遥感信息高精度分类方法研究. 遥感技术与应用, 2004, 19(4): 244-248.

[67] 方朝阳, 邬浩, 陶长华, 高丹, 周华. 鄱阳湖南矶湿地景观信息高分辨率遥感提取. 地球信息科学学报, 2016, 18(6): 847-856.

[68] 周在明, 杨燕明, 陈本清. 三沙湾滩涂互花米草地上生物量估算. 湿地科学, 2016, 14(3): 391-395.

[69] 李双成, 张才玉, 刘金龙, 朱文博, 马程, 王珏. 生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题. 地理研究, 2013, 32(8): 1379-1390.

[70] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 曹淑艳, 肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. 资源科学, 2008, 30(1): 93-99.

[71] 梁建平, 马大喜, 毛德华, 王宗明. 双台河口国际重要湿地芦苇地上生物量遥感估算. 国土资源遥感, 2016, 28(3): 60-66.

[72] Mitsch W J, Gosselink J G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. Ecological Economics, 2000, 35(1): 25-33.

[73] 韩美, 张晓慧. 黄河三角洲湿地主导生态服务功能价值估算. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(6): 37-43.

[74] 敖长林, 陈瑾婷, 焦扬, 王静. 生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例. 生态学报, 2013, 33(16): 5109-5117.

[75] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶. 尺度推绎研究中的几点基本问题. 地球科学进展, 2002, 17(6): 905-911.

[76] 高艳妮, 陈玮, 何兴元, 李小玉. 基于二维小波分析的景观特征尺度识别. 应用生态学报, 2010, 21(6): 1523-1529.

[77] 吴浩, 李岩, 史文中, 陈晓玲, 付东杰. 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别. 生态学报, 2014, 34(7): 1822-1830.

[78] 王建华, 吕宪国. 湿地服务价值评估的复杂性及研究进展. 生态环境, 2007, 16(3): 1058-1062.

[79] Turner R K, Van Den Bergh J C J M, Söderqvist T, Barendregt A, Van Der Straaten J, Maltby E, Van Ierland E C. Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. Ecological Economics, 2000, 35(1): 7-23.

[80] Turner R K, Daily G C. The ecosystem services framework and natural capital conservation. Environmental and Resource Economics, 2008, 39(1): 25-35.

[81] 徐崇刚, 胡远满, 常禹,姜艳, 李秀珍, 布仁仓, 贺红士. 生态模型的灵敏度分析. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1056-1062.

[82] Van Bodegom P, Bakker C, Van Der Gon H D. Identifying key issues in environmental wetland research using scaling and uncertainty analysis. Regional Environmental Change, 2004, 4(2/3): 100-106.

[83] 彭涛, 陈晓宏, 王高旭, 李英海, 刘冀. 基于集对分析与三角模糊数的滨海湿地生态系统健康评价. 生态环境学报, 2014, 23(6): 917-922.

[84] Eskelinen R, Ronkanen A K, Marttila H, Kløve B. Assessment of uncertainty in constructed wetland treatment performance and load estimation methods. Environmental Monitoring and Assessment, 2016, 188: 365.

[85] 吕宪国, 王起超, 刘吉平. 湿地生态环境影响评价初步探讨. 生态学杂志, 2004, 23(1): 83-85.

[86] Ten Broeke G A, Van Voorn G A K, Kooi B W, Molenaar J. Detecting tipping points in ecological models with sensitivity analysis. Mathematical Modelling of Natural Phenomena, 2016, 11(4): 47-72.

[87] Barabás G, Pásztor L, Meszéna G, Ostling A. Sensitivity analysis of coexistence in ecological communities: theory and application. Ecology Letters, 2014, 17(12): 1479-1494.